

EFICIENCIA DE RETENCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS CLOACALES DE LA CIUDAD DE TRENQUE LAUQUEN (BUENOS AIRES)

Pilati, Alberto^{1@} y Fresia, Germán¹

¹ Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam
@ apilati@exactas.unlpam.edu.ar

Recibido 14/08/2020
Aceptado 10/11/2020

RESUMEN. La planta de tratamientos de líquidos cloacales de Trenque Lauquen fue creada en 1992 cuando la población era sustancialmente menor. El objetivo fue determinar la eficiencia de retención de la misma ya que sus efluentes podrían causar un fuerte impacto negativo sobre el cuenco receptor. Para evaluar la eficiencia en condiciones extremas de temperatura, se tomaron muestras de sólidos suspendidos totales (SST), clorofila, y nitrógeno (NT) y fósforo (PT) totales a lo largo de la planta en invierno y verano. Se encontró que el pozo Imhoff retiene 24-37 % de SST y siempre retuvo el 100 % de los sólidos suspendidos inorgánicos. Si bien la planta retuvo entre 11-20 % de NT y 11-17 % de PT, los valores de descarga de la planta (23-41 mgNT/L y 3,9-4,1 mgPT/L) todavía exceden lo permitido por la ley. Las variaciones en la retención entre estaciones contrastantes se debió principalmente a un aumento de la actividad biológica en verano. La eficiencia de retención podría mejorarse con el uso de fitorremediadores, realizando tareas de mantenimiento y ampliación de las instalaciones actuales.

PALABRAS CLAVE: nitrógeno total, fósforo total, nitrato, amonio, fosfato, clorofila, invierno, verano;

ABSTRACT. Retention efficiency of the sewage treatment plant of Trenque Lauquen city (Buenos Aires). The Trenque Lauquen sewage treatment plant was created in 1992 when the population was substantially smaller. The objective was to determine its retention efficiency since its effluents could cause a strong negative impact on the environment. To evaluate the efficiency under extreme temperature conditions, samples of total suspended solids (TSS), chlorophyll, and total nitrogen (TN) and phosphorus (TP) were taken throughout the plant in winter and summer. The Imhoff well retained 24-37 % TSS and always retained 100 % of the inorganic suspended solids. Although the plant retained between 11-20 % TN and 11-17 % TP, the plant discharge values (23-41 mgNT/L and 3.9-4.1 mgPT/L) still exceed the law allowance. Variations in retention between contrasting seasons were mainly due to an increase in biological activity in summer. Retention efficiency could be improved by the use of phytoremediation, plant maintenance and expansion of existing facilities.

KEYWORDS: total nitrogen; total phosphorus; nitrate; ammonia; phosphate; chlorophyll; winter; summer;

INTRODUCCIÓN

Debido a su baja disponibilidad, el agua dulce es un recurso natural cuya conservación, planificación y gestión resultan esenciales para el desarrollo socioeconómico y para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas (Schulz, 1995). En Argentina, el consumo de agua para uso domiciliario ocupa el segundo

lugar luego del uso agrícola, y el masivo consumo de agua para abastecer poblaciones ha sido superior al crecimiento poblacional desde 1960 (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016). En consecuencia, las poblaciones han incrementado la generación de residuos líquidos cloacales, saturando la capacidad asimiladora de la naturaleza y de las plantas de tratamiento en aquellos sitios que cuentan con éstas (Crespi et al., 2007).

Los residuos líquidos producidos por las poblaciones son llevados a plantas de

Cómo citar este trabajo:

Pilati, A., y Fresia, G. (2021). Eficiencia de retención de la planta de tratamiento de líquidos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen (Buenos Aires). *Semiárida*, 31(1), 25-34.



tratamiento que reducen la cantidad de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Estos residuos pueden poseer los siguientes tratamientos secuenciales: 1) previo (eliminan objetos de gran tamaño como trapos, maderas, plásticos, etc.), 2) primario (separa sólidos en suspensión, grasas y aceites mediante el uso de desarenadores y los pozos Imhoff), 3) secundario (elimina la materia orgánica biodegradable mediante procesos biológicos aeróbicos, anaeróbicos y facultativos), y 4) terciario (elimina fundamentalmente mediante procesos químicos, seguido de una destrucción selectiva de bacterias y virus patógenos presentes en el agua) (De Lora & Miró, 1978). Luego de salir de la planta de tratamientos, el agua se vuelca a un cuerpo receptor.

La eficiencia de las lagunas de estabilización depende de la temperatura, época del año, tiempo de residencia, caudal, naturaleza del líquido afluente y mantenimiento de las lagunas (Ortega Sastriques & Orellana Gallego, 2007). Según Laws (1993) si las lagunas están colmatadas y no funcionan adecuadamente, el cuerpo de agua receptor final (lago o río) recibirá una alta carga de materia orgánica que puede causar la disminución del oxígeno disuelto (anoxia) y muerte de la flora y fauna acuáticas. Por otro lado, si las lagunas de estabilización no cumplen con la función de retener nutrientes, éstos llegarán al cuenco receptor, causando un gran impacto a ese sistema natural conocido como eutrofización que responde principalmente al agregado de nitrógeno (N) y fósforo (P). Los efectos nocivos generales incluyen: aparición de cianobacterias tóxicas, reducción del valor estético, anoxia y muertes masivas de peces, mal olor y pérdida de biodiversidad entre otras.

Trenque Lauquen es una ciudad que en el 2010 tenía 33442 habitantes y que para el período 2001-2010 ha tenido un incremento poblacional intercensal del 7 % (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2010). Como consecuencia de este crecimiento, se ha incrementado tanto el tamaño de la red cloacal como la generación de residuos líquidos, y se ha comprometido su adecuado

tratamiento (R. Patris, 2016 com. pers.). La planta de tratamiento de efluentes cloacales de Trenque Lauquen está ubicada al NE de esta ciudad y está en funcionamiento desde 1992. Consta de un sistema de tratamiento de tipo previo (rejillas), primario (desarenador, pozo Imhoff), secundario (lagunas) y de desinfección. Los efluentes tratados se conducen a la laguna El Hinojo, ubicada hacia el este de la ciudad.

Si bien la planta actual de Trenque Lauquen es relativamente moderna, en ella sólo se proyectó construir un nuevo pozo Imhoff, pero no lagunas extras, para contemplar un aumento del caudal cloacal. Por lo tanto, en caso de que la planta no funcione de acuerdo a lo planificado, el líquido cloacal sólo reduciría su permanencia dentro de la planta, minimizando su efectividad depuradora. Debido a que el crecimiento poblacional de la ciudad de Trenque Lauquen ha sido exponencial, esta investigación tuvo como objetivo determinar el grado de retención de sólidos suspendidos en el pozo Imhoff y la de N y P de las lagunas de estabilización para poder comparar estos valores con lo establecido por la bibliografía para este tipo de instalaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio:

El estudio se realizó en la planta de tratamientos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen, provincia de Buenos Aires, Argentina. La precipitación media anual de la región es de 1.045 mm y temperaturas medias anuales de 17,1 °C. La temperatura media del mes más frío (julio) es de 9,6 °C y la del mes más cálido (enero) de 24,5 °C (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2017). En particular, durante los meses de muestreo, la temperatura promedio de julio fue de 10 °C, mientras que para enero fue de 25,9 °C.

Los líquidos cloacales ingresan a la planta (Figura 1) por un caño madre que registra un pico de caudal sobre el mediodía (D. A. Pecochea, 2016 com. pers.). El afluente crudo pasa por rejillas y un tanque que se utiliza como un desarenador. Las arenas sedimentadas en el tanque compensador son depositadas en las playas de secado y el efluente líquido es

conducido al pozo Imhoff. Dicho pozo, produce una primera separación de residuos sólidos separados por decantación que son vertidos a cielo abierto a las playas de secado, mientras que los efluentes líquidos pasan a las lagunas de tratamiento (R. Patris, 2016 com. pers.).

La planta cuenta con 3 lagunas conectadas en serie para el manejo de efluentes líquidos. La primera laguna es de tipo aeróbica. Tiene forma de herradura en la que cada ala tiene 155 m de largo, 46 m de ancho y 2,5 m de profundidad. Los bordes son de cemento y el piso se encuentra impermeabilizado con grava. Posee 8 oxigenadores, aunque durante el estudio, funcionó sólo uno en invierno y ninguno en verano. La segunda laguna es de tipo anaeróbica. Sus dimensiones son 112 m de largo, 36 m de ancho y 1,8 m de profundidad y también está impermeabilizada con grava. Durante el estudio, en esta laguna no se recolectaron muestras porque carecía de flujo ya que el líquido pasaba por un “bypass” de la laguna aeróbica a la facultativa. Por último existen dos lagunas facultativas unidas por un estrangulamiento. La primera, impermeabilizada con membrana asfáltica, tiene 104 m de largo, 70 m de ancho y 1,5 m de profundidad. La segunda, impermeabilizada con grava, tiene 274 m de largo, 60 m de ancho y una profundidad gradual de 1 m a 1,5 m.

La planta posee dos “bypass”. El primero se ubica a la entrada y sólo funciona en momentos de caudal pico y de altas precipitaciones para evitar el colapso de la planta. Esto produce que los vertidos crudos (sin tratamiento) vayan directamente al cuenco receptor (Lag. El Hinojo) (D. A. Pecochea, 2016 com. pers.). El segundo, como ya se mencionó, desvía los líquidos para evitar la laguna anaeróbica.

Muestreo a campo:

Se tomaron muestras en 5 sitios de la planta (Figura 1). El Sitio A: punto de ingreso de residuos crudos a la planta o ingreso al pozo Imhoff; Sitio B: salida del pozo Imhoff/entrada laguna

aeróbica; Sitio C: salida laguna aeróbica/entrada facultativa; Sitio D: salida de la laguna facultativa/planta.

Las muestras se tomaron en invierno (14, 21, 28 de julio y 4 de agosto de 2016) y en verano (12, 19, 26 de enero y 2 de febrero de 2017) para obtener la mejor representatividad del funcionamiento de la planta con mínima y máxima actividad bacteriana. En cada uno de los días mencionados, se tomaron muestras a las 9 h, 12 h, 15:00 h y 19:00 h según lo sugerido por Obras Sanitarias de la Nación [OSN] (1973). Las muestras se tomaron con un balde y se colocaron en botellas individuales dentro de una conservadora con hielo hasta su procesamiento al finalizar el día. Al finalizar el día, las muestras horarias se integraron en una sola para representar el funcionamiento del sitio durante ese día. La integración de muestras se realizó para minimizar los dos picos de caudales diarios que generalmente ocurren entre las 10-12 AM y las 7-9 PM (Crites & Tchobanoglous, 2000). De esta forma, se obtuvieron 4 muestras integradas para cada estación y para cada sitio dentro de la planta.

Análisis de muestras y de datos:

Los sólidos suspendidos se midieron filtrando de un volumen de agua conocido a través de un

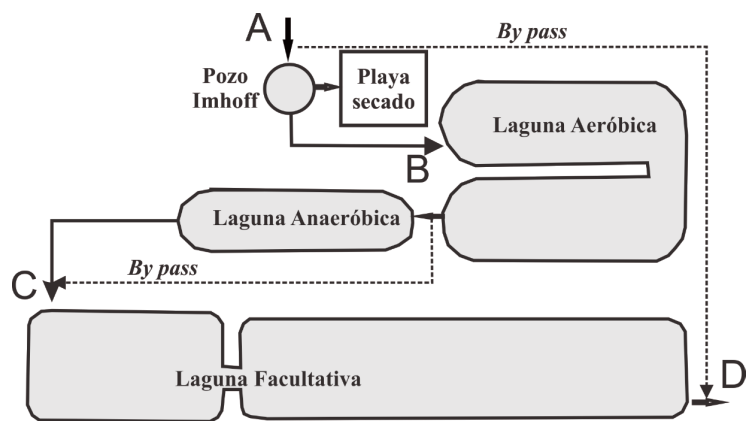


Figura 1. Esquema de la planta de tratamiento de aguas cloacales y puntos de muestreo: A) Ingreso a la planta/ingreso pozo Imhoff, B) salida del pozo Imhoff/ingreso a la laguna aeróbica, C) salida de la laguna aeróbica/ingreso a la laguna facultativa, D) salida de la laguna facultativa/planta. Las líneas punteadas indican los “bypass”. La laguna anaeróbica no presentaba descargas durante los muestreos.

Figure 1. Diagram of the sewage treatment plant and sampling points: A) plant/Imhoff well inlet, B) Imhoff well outlet/aerobic lagoon inlet, C) aerobic lagoon outlet/facultative lagoon inlet, D) facultative lagoon/plant outlet. Dotted lines indicate the “bypass”. The anaerobic lagoon had no discharge during sampling.

filtro de fibra de vidrio (Gelman A/E) prepesado. El secado a 103-104 °C y el calcinado posterior en mufla a 500 °C por 1 hora permitió estimar los sólidos suspendidos orgánicos (SSO), inorgánicos (SSI) y totales (SST) (Environmental Protection Agency [EPA], 1993).

Doscientos cincuenta mililitros de muestras cloacales brutas fueron preservados en un freezer para determinaciones de nutrientes totales. El nitrógeno total (NT) y el fósforo total (PT) se determinaron con el método de reducción de cadmio y método del ácido ascórbico previa digestión con persulfato de potasio (American Public Health Association [APHA], 1992) respectivamente. Los nutrientes disueltos se obtuvieron previa filtración con un filtro de fibra de vidrio tipo GF/F de 0,7 µm de poro y se preservaron en freezer (-18 °C) hasta su análisis. El amonio (N-NH₄), el nitrato (N-NO₃) y el fósforo reactivo soluble (P-PO₄) se determinaron con los métodos del salicilato, reducción de cadmio y del ácido ascórbico respectivamente (APHA, 1992). Los nitritos no se muestran en los Resultados ya que sus concentraciones estuvieron por debajo del nivel de detección. Todos los nutrientes fueron leídos con un espectrofotómetro MetroLab 1700.

Para estimar la biomasa fitoplanctónica se utilizó la concentración de clorofila determinada sobre alícuotas filtradas en filtros de fibra de vidrio tipo GF/F y extracción con alcohol etílico frío. Las lecturas se realizaron con un fluorómetro AquaFluor de Turner Designs, corregidas por la presencia de feopigmentos con ácido clorhídrico (Arar & Collins, 1997).

Para determinar el grado de retención de los diferentes nutrientes de la planta o cada laguna se utilizó la siguiente fórmula (EPA, 2004): % Retención = $100 * (E - S) / E$, siendo E la concentración de un elemento a la entrada de la planta o laguna y S la concentración a la salida de la planta o laguna.

Debido a la falta de normalidad de los datos y el bajo número de réplicas (n=4), para detectar diferencias entre estaciones para cada variable, se compararon las medianas mediante el test no paramétrico Mann-Whitney. Para detectar diferencias en cada variable a lo largo de la

planta (sitios de muestreo dentro de cada estación), se compararon las medianas en los diferentes sitios de muestreo utilizando el test no paramétrico Kruskal-Wallis seguido de un test de Mann-Whitney (Zar, 1999). En todos los casos se utilizó el software estadístico PAST (Hammer et al., 2001).

RESULTADOS

Funcionamiento de la planta en el tiempo:

Imágenes satelitales (GoogleEarth) del 2003 indican que 11 años después de su puesta en funcionamiento, en la planta sólo funcionaban 4 aireadores (Figura 2). En 2013 no funcionaban el pozo Imhoff ni las lagunas aeróbicas y anaeróbicas debido a tareas de mantenimiento, y el líquido cloacal entraba directamente a la laguna facultativa. En 2016, si bien funcionaban el pozo Imhoff y todas las lagunas, no se observó en estas imágenes actividad alguna en los oxigenadores. El análisis de estas imágenes hizo sospechar una potencial deficiencia en el funcionamiento de la planta.

Funcionamiento del pozo Imhoff

Durante el invierno, ingresaron al pozo Imhoff 146,4 mg SST/L (± 37,1) y salieron 107,0 (± 8,2). Durante el verano ingresaron 129,2 mg SST/L (± 35,7) y salieron 75,3 (± 7,5). La retención promedio de SST en el invierno fue de 24,3 % (±15,5) y 37,4 % (±20,9) en verano. La retención de Sólidos Suspendidos Orgánicos (SSO) en el invierno fue de 34,5 % (±9,6) y 40,3 % (±12,2) en verano. La retención de Sólidos Suspendidos Inorgánicos (SSI) fue siempre de un 100 % para ambas estaciones.

Funcionamiento actual de la planta y las lagunas aeróbica y facultativa:

La planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen retuvo un porcentaje mayor de NT en verano que en invierno, y esa diferencia fue significativa (Tabla 1). La retención promedio de NT de la planta en ambas estaciones fue de 16 % y varió entre 11 y 20 %. La laguna aeróbica retuvo un 8 % (±17) de NT en invierno y un 9 % (±10) en verano. Las lagunas facultativas como una unidad retuvieron un 1 % (±9) de NT en invierno y 5 % (±11) en verano. Si bien hubo una reducción de los

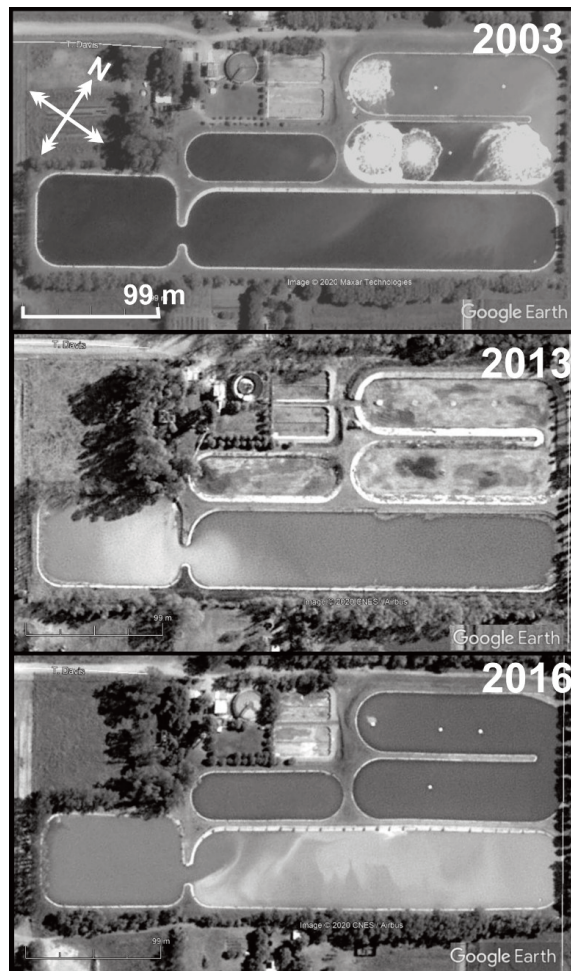


Figura 2. Imágenes satelitales (GoogleEarth) de la planta de tratamientos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen (Buenos Aires) para los años 2003, 2013 y 2016. La barra en la primer foto muestra la escala.

Figure 2. Satellite images (GoogleEarth) of the sewage treatment plant in the city of Trenque Lauquen (Buenos Aires) for the years 2003, 2013 and 2016. The bar in the first photo shows the scale.

Tabla 1. Eficiencia de retención (%) de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT), en la planta depuradora de líquidos cloacales de Trenque Lauquen, para invierno y verano. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % entre las medianas entre invierno y verano según el test Mann-Whitney.

Table 1: Retention efficiency (%) of total nitrogen (NT) and total phosphorus (PT), in the Trenque Lauquen sewage treatment plant, for winter and summer. Different letters indicate significant differences at 5 % between the winter and summer medians according to the Mann-Whitney test.

	Eficiencia de retención (%)	
	NT	PT
Invierno	11,3 ^a ±6	10,5 ^a ±3
Verano	20,0 ^b ±2	17,2 ^b ±3

niveles de NT a lo largo de la planta (Tabla 2), las medidas mostraron un gran error experimental en el invierno, por lo que no se pudieron observar diferencias significativas ($H=4,45$; $P=0,2163$). En el verano, en cambio, la disminución de NT a lo largo de la planta fue más marcada y se registraron diferencias significativas entre los diferentes sectores ($H=9,66$; $P=0,0210$).

Al igual que el NT, la retención de PT durante el invierno también fue significativamente menor que en el verano (Tabla 1). La retención de PT promedio de la planta en ambas estaciones fue del 14 % y varió entre 11 y 17 %. La laguna aeróbica retuvo un 4 % ($2\pm$) de PT en invierno y un 10 % ($5\pm$) en verano. Las lagunas facultativas A y B como una unidad retuvieron un 3 % ($5\pm$) de PT en invierno y 3 % ($8\pm$) en verano. Las concentraciones de PT a lo largo de la planta se redujeron significativamente en ambas estaciones (Invierno $H=9,28$; $P=0,0253$; Verano $H=11,69$, $p=0,0085$) (Tabla 2).

Respecto de los nutrientes disueltos, en la Tabla 2 se observa que durante el invierno ni las concentraciones de nitratos ni las de amonio tendieron a reducirse a lo largo de la planta (Invierno $N-NO_3$ $H=3,48$; $P=0,316$ e Invierno $N-NH_4$ $H=1,58$; $P=0,6621$). Sin embargo, en verano, ambas variables mostraron una disminución significativa a lo largo de la planta (Verano $N-NO_3$ $H=9,05$; $P=0,0269$ y Verano $N-NH_4$ $H=12,51$; $P=0,0058$). En cambio, la reducción de fosfatos a lo largo de la planta ocurrió en ambas estaciones, y fue más notoria en verano (Invierno $P-PO_4$ $H=10,01$; $P=0,0384$; Verano $P-PO_4$ $H=6,94$, $p=0,0136$).

La presencia de algas (como clorofila) en las lagunas de estabilización aumentó significativamente en el verano respecto del invierno, registrándose la máxima concentración a la salida de la laguna aeróbica (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Pozo Imhoff y la retención de sólidos suspendidos

El pozo Imhoff retuvo sólidos suspendidos con mayor eficiencia durante el verano, sin embargo se observó una gran variabilidad en los datos, particularmente a la entrada del pozo en

Tabla 2: Concentración promedio de nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), nitratos (N-NO₃), amonio (N-NH₄) y fosfatos (P-PO₄) (mg/L) y clorofila (µg/L) a la salida de los distintos sitios de muestreo para el Invierno y el Verano. Se indica también la desviación estándar y entre paréntesis el rango de los datos. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas al 5 % según el test Mann-Whitney entre los sitios de muestreo para esa estación particular

Table 2: Mean concentration of total nitrogen (NT), total phosphorus (TP), nitrates (N-NO₃), ammonium (N-NH₄) and phosphates (P-PO₄) (mg/L), and chlorophyll (µg/L) at the outlets of the different sampling sites for the Winter and Summer. The standard deviation is also indicated. Range of the data is in brackets. Different letters within each variable indicate significant differences at 5 % according to the Mann-Whitney test between the sampling sites for that particular season.

	NT	PT	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	Clorofila
Invierno						
Imhoff	46,81 ±3,73 ^a (42,6-51,7)	4,67 ±0,17 ^a (4,6-4,9)	1,95 ±0,39 ^a (1,4-2,3)	39,76 ±2,58 ^a (36,4-41,9)	4,07 ±0,13 ^a (3,9-4,3)	3,2 ±1,3 ^a (2,3-5,1)
Aeróbica	42,85 ±5,96 ^a (34,7-49,1)	4,49 ±0,09 ^{ab} (4,4-4,6)	1,58 ±0,28 ^a (1,2-1,7)	39,04 ±4,01 ^a (33,3-42,6)	4,00 ±0,21 ^b (3,7-4,1)	68,6 ±13,6 ^b (52-85)
Facultativa	41,43 ±2,51 ^a (39,3-44,9)	4,18 ±0,21 ^b (4,0-4,4)	1,60 ±0,29 ^a (1,3-2,0)	38,39 ±3,01 ^a (36,4-42,9)	3,63 ±0,20 ^b (3,4-3,9)	394,2 ±73,8 ^c (329-498)
Verano						
Imhoff	36,72 ±4,03 ^a (32,9-41,5)	4,81 ±0,27 ^a (4,5-5,1)	0,05 ±0,006 ^a (0,04-0,05)	32,10 ±3,75 ^a (28,7-36,7)	2,51 ±0,42 ^a (1,9-2,9)	4,6 ±1,6 ^a (3,1-6,4)
Aeróbica	33,13 ±4,04 ^{ab} (28,7-38,5)	4,33 ±0,26 ^{ab} (4,0-4,6)	0,04 ±0,002 ^b (0,03-0,04)	25,74 ±5,17 ^a (18,6-30,9)	2,33 ±0,77 ^a (1,2-3,1)	1442,3 ±441,4 ^c (958-1838)
Facultativa	29,36 ±3,12 ^b (25,7-35,2)	3,98 ±0,20 ^b (3,8-4,2)	0,04 ±0,003 ^b (0,03-0,04)	15,54 ±1,10 ^b (14,7-16,9)	1,38 ±0,33 ^b (0,9-1,6)	956,9 ±401,3 ^{bc} (364-1794)

ambas estaciones. Estas variaciones podrían deberse a dos factores. Primero, a variaciones de caudal producidas por la existencia de un “bypass” que se realiza en la planta con la finalidad de disminuir el nivel de agua en el pozo de ingreso a la planta y resguardar las bombas elevadoras durante los momentos pico (D. A. Pecochea, 2016, com. pers.). Aunque estas variaciones no están registradas con ningún sistema de aforo fueron observadas en numerosas oportunidades durante el muestreo. Segundo, a variaciones horarias, diarias y estacionales de caudal en las plantas depuradoras (producto de los hábitos de la población y las características del sistema colector) (OSN, 1973).

Las menores concentraciones de SST observadas en verano en el pozo Imhoff podrían responder a un efecto de dilución por el aumento en el caudal de efluentes cloacales producto del mayor consumo de agua durante esta estación. Este aumento en el consumo del agua ya ha sido registrado en otras ciudades del mundo (Crites & Tchobanoglous, 2000). Desafortunadamente

no existe un registro horario de caudal de efluentes que permitiera corroborar estas observaciones a campo.

La retención de SST del pozo Imhoff puede considerarse más bien baja. La Organización Panamericana de la Salud/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria [OPS/CEPIS] (2005) indica que un tanque Imhoff bien diseñado debería retener entre 40 y 50 % de los SST. Durante el estudio, sólo se observó que la retención de SST cae dentro de este rango en verano, mientras que no lo alcanza en invierno. Esa retención es particularmente eficiente para los sólidos suspendidos inorgánicos (SSI).

Retención de nutrientes

Para poder evaluar el funcionamiento de la planta de tratamientos cloacales de la ciudad de Trenque Lauquen se compararon los valores obtenidos con valores de referencia en la literatura (Tabla 3). Lamentablemente no se encontraron valores de referencia nacionales de retención de NT y PT, por lo que se debió utilizar valores de referencia internacionales. Estos valores fueron muy dispares ya que el

rendimiento de las plantas es variable y refleja diferentes formas de operación, calidades del líquido cloacal influente, caudal que reciben de acuerdo al uso de la población, y temperaturas locales (EPA, 2008). Tampoco se encontraron valores de referencia de niveles aceptables de descarga de N y P de la planta sobre el cuenco receptor establecidos por la legislación Nacional. Sin embargo, algunas provincias vecinas lo han reglamentado. Como se puede observar, estos valores también son altamente variables ya que los distintos cuerpos receptores poseen características particulares, que les conferirían diferente respuesta frente a procesos de eutrofización, lo cual complica una reglamentación universal.

Los valores promedio de eficiencia de retención de NT de la planta y de la laguna facultativa están muy por debajo de lo encontrado en la literatura internacional (Tabla 3) por lo que se puede deducir un insuficiente funcionamiento de las mismas. Esta poca retención se ve reflejada en los valores promedio de NT observados en la salida, lo cuales están justo en el límite establecido en la Provincia de Buenos Aires para ser volcados a un cuenco receptor. En términos generales, la baja retención de NT en esta planta durante el verano

(20 %) es similar a la encontrada en la planta de tratamiento Sur de la ciudad de Santa Rosa (La Pampa) en la misma estación, que promedió un 23 % (Polanco & Pilati, 2014).

Las variaciones de retención de la planta entre estaciones pueden deberse a diferencias en las entradas de N a la planta, como también diferencias en el funcionamiento entre las estaciones. Respecto del primer factor, es importante destacar que durante el verano se observaron menores concentraciones de NT, nitratos y amonio (Tabla 2) a la salida del pozo Imhoff. Esta reducción puede deberse a un efecto de dilución como resultado de un aumento en el consumo (y desecho) de agua de la ciudad o el efecto de las tormentas estivales tal cual ya fue mencionado con anterioridad para los SST. Respecto del segundo factor es importante destacar que la falta de diferencias significativas en los niveles de NT a lo largo de la planta durante el invierno estaría fuertemente relacionada con las bajas temperaturas, que habrían reducido la actividad de las bacterias nitrificadoras, amonificadoras y denitrificadoras (Margalef, 1986; Wetzel, 2001; EPA, 2008), y de las algas (Wetzel, 2001). De esta manera, las pocas formas nitrogenadas liberadas por procesos bacterianos durante la descomposición

Tabla 3. Valores de eficiencia de retención de NT y PT y de descarga de la planta obtenidos en este estudio. También se muestran valores de referencia según diferentes tratamientos obtenidos de la literatura.

	Efic. Retención (%)		Descarga (mg/L)		
	NT	PT	NT	PT	Referencia
Trenque Lauquen					
Planta - Prom. Anual (rango)	16 (11-20)	14 (11-17)	35 (23-41)	4 (3,9-4,1)	Este estudio
Aeróbica - Prome. Anual (Rango)	8,6 (0-25)	7 (2-17)			
Facultativa - Prom. Anual (rango)	2,6 (0-16)	4 (0-24)			
Legislación Argentina	Efic. Retención (%)		Lím. Descarga (mg/L)		
Buenos Aires			35	<1	Resol. 336/03 A.D.A
La Pampa				3,3	Ley 1914, Decreto 2793/06
Santa Fé			15	2	Ley 11220, Resol. 324/11
Legislación Internacional					
Laguna anaerobia/facultativa	30-50	20-60			Silva et al. (2008) - Colombia
Laguna facultativa	43-82	mínima	14-50	0,5-15	Crites & Tchobanoglous (2000) EEUU
Anaerobia	5-10	0-5			Alianza por el agua (2008) - Latinoam.
Facultativa - Prom. Anual (rango)	30-60	0-30			Alianza por el agua (2008) - Latinoam.

no habrían llegado a ser absorbidas por las algas. En el verano, en cambio, el aumento de la temperatura y la actividad biológica, habrían favorecieron no sólo la mineralización de compuestos nitrogenados sino también el florecimiento algal, lo que consecuentemente habría reducido las concentraciones de amonio y nitrato a lo largo de la planta. Este argumento puede verse verificado en los niveles de clorofila observados en la Tabla 2. Sumado a esto se pueden suponer efectos muy importantes de la denitrificación durante la época estival ya que este proceso está positivamente relacionado con la temperatura y ha sido observado en numerosas plantas de tratamiento (EPA; 2008 y 2009). De esta manera se puede afirmar que si bien la planta retiene NT de manera aceptable, los niveles volcados sobre el cuenco receptor (Laguna El Hinojo) podrían llegar a eutrofizarlo.

Al igual que lo observado con el NT, los valores de eficiencia de retención de PT de la planta como una unidad y de la laguna facultativa también podrían encuadrarse dentro del rango estipulado por legislación internacional (Tabla 3). Sin embargo, al ser valores más bien bajos, los niveles de PT vertidos por la planta hacia el cuenco receptor también están muy por encima de los límites establecidos para la Provincia de Buenos Aires. Se puede afirmar entonces que la planta como un todo retiene PT en la forma esperada. Sin embargo, este rendimiento se ve negativamente afectado por la falta de funcionamiento de ciertas estructuras (laguna anaeróbica y oxigenadores de la aeróbica), y podría mejorarse. Aquí es importante destacar que el P, a diferencia del N que posee intercambio con la fase gaseosa, posee un ciclo biogeoquímico muy conservador (Wetzel, 2001). De esta manera, no es sorprendente que las plantas de tratamiento basadas en procesos biológicos como la de Trenque Lauquen sean poco eficientes, ya que el P no “desaparece” del sistema, debido a que pasa de estado particulado (materia fecal) a disuelto (fosfatos) y sale de la planta nuevamente como P particulado (biomasa algal). La única forma eficiente de reducir el P en las plantas de tratamientos es por precipitación química en plantas terciarias (EPA, 2004). De

continuar con estos niveles de volcado de P al cuenco receptor, éste podría rápidamente eutrofizarse.

En términos generales, la retención de PT en esta planta durante el verano fue más del doble de la encontrada en la planta de tratamiento Sur de la ciudad de Santa Rosa (La Pampa) que promedió un 7 % durante el verano (Polanco & Pilati, 2014). Estas diferencias se deben a las diferentes formas de operación entre las plantas y los diferentes volúmenes tratados (consecuencia de los diferentes tamaños poblacionales entre ambas ciudades).

Propuestas para reducir las concentraciones de N y P en el cuenco receptor

Según los resultados de esta investigación, la planta de tratamiento de aguas cloacales de Trenque Lauquen descarga niveles de N y P que están en el límite o son superiores a lo establecido por la provincia de Buenos Aires. La deficiencia en su desempeño probablemente sea consecuencia de la falta de mantenimiento y/o funcionamiento parcial de la planta. Como ya se mencionara anteriormente, la falta de oxigenadores y la existencia de un “bypass” que no permite el permanente ingreso de agua a la laguna anaeróbica, podría estar disminuyendo el funcionamiento de la planta. Es por ello que es necesario tomar acciones inmediatas para disminuir la descarga de N y P al cuenco receptor. Estas acciones podrían incluir el mejoramiento de la planta actual y el uso de fitorremediadores.

El mejoramiento de la planta actual es la opción más costosa ya que debe incluir el reemplazo y puesta en funcionamiento de los oxigenadores. Esto brindaría una mayor eficiencia en las lagunas aeróbicas, logrando una mayor reducción de la materia orgánica y mejoraría la retención de fósforo por procesos biológicos (EPA, 2009). También se debería concretar la construcción de un nuevo Pozo Imhoff (ya planificado) y un nuevo desarenador. Esto permitiría procesar mayores volúmenes de agua en caso de una ampliación de la planta. De ampliarse la planta, debería considerarse construir las lagunas en paralelo y no en serie como están actualmente. De esta manera se podrían efectuar actividades de mantenimiento,

sin la necesidad de interrumpir fases sucesivas en el tratamiento de los efluentes líquidos, tal como lo ocurrido en 2013.

El uso de fitorremediadores en cambio, es la opción más económica. Los fitorremediadores son plantas vasculares acuáticas (achiras, papiros, totoras u otro tipo de plantas emergentes) conocidas por retener importantes cantidades de N y P disueltos (Gebremariam & Beutel, 2008). Algunos autores, han demostrado que la eficiencia de estos fitorremediadores es muy prometedora. Chung et al. (2008) observaron que humedales con *Typha latifolia* retuvieron un 67 % de PT de efluentes cloacales. Por otro lado, la retención de TKN (NT como Kjeldahl) fue de hasta el 100 % en tratamientos con estas plantas. Yousefi & Mohseni-Bandpei (2010) trabajando con plantas de lirio (*Iris* sp.) encontraron que las eficiencias de retención de PT fueron de hasta el 67 % y de TKN de hasta un 50 %. De esta manera, el cultivo de ciertas especies fitorremediadoras a lo largo del canal que conecta la planta de tratamiento con el cuerpo de agua receptor (de aproximadamente 15 Km), podría mejorar la retención de nutrientes antes de llegar a la laguna El Hinojo.

CONCLUSIONES

La presente investigación permite afirmar que, a la entrada de la planta de tratamiento de aguas cloacales de Trenque Lauquen, el pozo Imhoff retiene suficientes SST y particularmente retiene el 100 % de los SSI a lo largo de todo el año. Respecto de los nutrientes, si bien la planta retiene NT y PT, no lo hace eficientemente ya que las concentraciones del efluente no encuadran en lo establecido por las leyes vigentes de la Provincia de Buenos Aires. El volcado de los efluentes tratados puede llegar a complicar el estado trófico del cuenco receptor. Las diferencias de retención entre verano e invierno, y las variaciones en las concentraciones de nutrientes disueltos a lo largo de la planta se debieron principalmente a las variaciones en la actividad microbiológica y algal afectadas por la temperatura. La eficiencia de retención podría mejorarse con el uso de fitorremediadores, realizando tareas de mantenimiento y ampliando de las instalaciones actuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Obras Sanitarias de la ciudad de Trenque Lauquen y al personal de la planta de tratamiento por facilitar el muestreo. Este proyecto fue financiado por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNLPam) y por Municipalidad de la ciudad de Trenque Lauquen.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA. (1992). Standard Method for the examination of water y wastewater, Edición 18, Washington D.C. 1022 p.
- Arar, E. J. & Collins, G. B. (1997). In vitro determination of chlorophyll a and pheophytin-a in marine and freshwater algae by fluorescence. *Método EPA 445*. Website: www.epa.gov/nerlcwww/ordmeth.htm (10/07/2016)
- Chung, A. K. C., Wu, Y., Tam, N. F. Y. & Wong, M. H. (2008). Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 32, 81-89.
- Crespi, R., Plevich, O., Thuar, A., Grosso, L., Rodríguez, C., Ramos, D., Barotto, O., Sartori, M., Covinich, M. y Boehler, J. (2007). Manejo de aguas residuales urbanas. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina. 23 p.
- Crites, R. & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill: Colombia.
- De Lora, F. & Miró, J. (1978). *Tratamiento y depuración de aguas residuales*. En (F. De Lora & J. Miró Eds.) Técnicas de defensa del medio ambiente (pp. 56-79). Barcelona, España: Ed. Labor.
- EPA. (1993). ESS Method 340.2: Total Suspended Solids, Mass Balance (Dried at 103–105 ˚C) Volatile Suspended Solids (Ignited at 550 ˚C). <http://www.epa.gov/glnpo/lmmb/methods/methd340.pdf> (14/09/2017)
- EPA. (2004). Local limits Development Guidance. EPA 833-R-04-002A July 2004.
- EPA. (2008). Municipal Nutrient Removal Technologies Reference Document. EPA 832-R-08-006, September 2008.
- EPA. (2009). Nutrient control design manual. EPA/600/R-09/012 January 2009.
- FAO. (2016). Uso del agua. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/ARG-WU_eng.stm (2/10/2017).
- Gebremariam, S. Y. & Beutel, M. C. (2008). Nitrate removal and DO levels in batch wetland mesocosms: Cattail (*Typha* spp.) versus bulrush (*Scirpus* spp.). *Ecological Engineering*, 34, 1-6.

- Pilati, A., y Fresia, G.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. www.censo2010.indec.gov.ar (8/08/2020).
- INTA. (2017). Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico. <http://siga2.inta.gov.ar/en/datosdiarios/> (19/19/2017).
- Laws, E. A. (1993). Aquatic pollution. An introductory text. New York: John Wiley & Sons.
- Margalef, R. (1986). Ecología. Barcelona, España: Ed. Omega.
- OPS/CEPIS. (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. OPS/CEPIS/05. 163. Lima Perú.
- Ortega Sastriques, F. y Orellana Gallego, R. (2007). El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas residuales urbanas. *Revista Ciencia Técnica Agropecuarias*, 16(3), 25-27.
- OSN. (1973). Manual de laboratorio para técnicos sanitarios. Argentina.
- Polanco, C. E. & Pilati, A. (2014). Retención de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento cloacal sur, Santa Rosa, La Pampa. Libro Actas IV Congreso Pampeano del Agua (pp. 23-31). Santa Rosa, La pampa, Argentina.
- Schulz, C. J. (1995). Agua y medio ambiente. COSYPRO Ltda. Quemú-Quemú (L.P.).
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology. Lake and river ecosystems. 3ra Edición. Academic Press.
- Yousefi, Z. & A. Mohseni-Bandpei. 2010. Nitrogen and phosphorus removal from wastewater by subsurface wetland planted with *Iris pseudacorus*. *Ecological Engineering*, 36, 777-782.
- Zar, J. H. (1999). Biostatistical Analysis. 4th ed., Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.